

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra mechanické technologie

**Konstrukční a technologický systém záběrového ústrojí
jízdního kola**

Design and Technology System of Bicycle Driving Device

Student:

Bc. Lubomír Lubina

Vedoucí diplomové práce:

prof. Ing. Jiří Hrubý, Csc.

Ostrava 2009

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Lubomír Lubina**
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: 2303T002 Strojírenská technologie
Téma: **Konstrukční a technologický systém záběrového ústrojí jízdního kola**

Design and Technology System of Bicycle Driving Device

Zásady pro vypracování:

1. Proveďte rozbor stávající technologie výroby pákového kužele hnacího ústrojí
2. Navrhněte konstrukční a technologickou změnu pákového kužele tvářením za studena
3. Proveďte analýzu základních parametrů tvářecích operací
4. Navrhněte koncepci tvářecích nástrojů pro mechanický lis
5. Proveďte diskuzi navržené konstrukčně technologické změny

Seznam doporučené odborné literatury:

DRASTÍK, F., ELFMARK, J. *Plastometry a tvařitelnost kovů*. Praha: SNTL, 1977
Qform. Uživatelská příručka. Moskva: Quantor Ltd., 2000
BABOR, K. aj. *Objemové tváření oceli*. Praha: SNTL 1967
KOTOUČ, J. *Nástroje pro tváření za studena*. Praha: ČVUT, 1978, 158 s.
MIELNIK, E.M. *Metalworking Science and Engineering*. New York: McGraw-Hill, 1991


Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí diplomové práce: **prof. Ing. Jiří Hrubý, CSc.**

Datum zadání: 29.09.2008

Datum odevzdání: 22.05.2009




prof. Ing. Jiří Hrubý, CSc.
vedoucí katedry


prof. Ing. Radim Farana, CSc.
děkan fakulty

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě

.....

Podpis studenta

Prohlašuji, že:

- byl jsem seznámen s tím, že na moji diplomovou (bakalářskou) práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 – školní dílo.
- беру на вѣдомі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou (bakalářskou) práci užít (§35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk diplomové (bakalářské) práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové (bakalářské) práce. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové (bakalářské) práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou (bakalářskou) práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на вѣдомі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě

.....

Bc. Lubomír Lubina
Sobotín 181, 788 16

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

LUBINA, L. Konstrukční a technologický systém záběrového ústrojí jízdního kola.
Ostrava: Katedra mechanické technologie, Fakulta strojní VŠB – Technická univerzita
Ostrava, 2009.

Diplomová práce, vedoucí Hrubý, J.

Nedílnou součástí jízdního kola je pákový kužel. Diplomová práce se zabývá návrhem konstrukčního a technologického systému záběrového ústrojí jízdního kola. Tento konstrukční a technologický systém má nahradit současnou výrobu třískovým obráběním a tvar součástí. Výsledkem bude snížení výrobních nákladů a snížení nákladů na reklamaci, v důsledku změny současného způsobu výroby a tvaru.

Návrh nového konstrukčního a technologického systému je doplněn výpočtem všech nutných parametrů pomocí simulačního programu QForm a technicko ekonomickým zhodnocením.

ANNOTATION OF DIPLOMA DISSERTATION

LUBINA, L. Design and Technology System of Bicycle Driving Device. Ostrava: Institute of mechanical technology, Faculty of mechanical Engineering VŠB – Technical University of Ostrava, 2009.
Dissertation, the head chef Hrubý, J.

Lever cone is an essential part of a bicycle. This thesis deals with a project of a constructional and technological system of bicycle gearing. This system is to replace contemporary manufacture by cutting operation as well as the shape of the component. That will lead to reducing the cost of production and claims as a consequence of changing the shape and process of manufacture. The proposal of the new constructional and technological system is supplemented with a calculation of all necessary parameters using a „QForm“ simulation program and technical-economic evaluation.

Obsah

| | |
|--|----|
| 1. Úvod..... | 9 |
| 2. Tváření za studena - lisování | 10 |
| 2.1 Lisovací nástroje | 10 |
| 2.2 Protlačování | 11 |
| 2.3 Zvláštní způsoby tváření za studena | 12 |
| 3. Rozbor stávající technologie výroby pákového kužele hnacího ústrojí | 13 |
| 3.1 Výrobní operace současné konstrukce..... | 14 |
| 3.2 Frézování drážky..... | 17 |
| 3.3 Odjehlení..... | 18 |
| 3.4 Broušení kulové dráhy | 19 |
| 3.5 Kalení a cementování..... | 19 |
| 3.6 Moření, zinkování, chromátování | 20 |
| 4. Návrh konstrukční a technologické změny záběrového ústrojí jízdního kola | 22 |
| 4.1 Odjehlení, broušení kulové dráhy, kalení, cementování, moření, zinkování a chromátování | 26 |
| 4.2 Volba materiálu polotovaru | 27 |
| 4.3 Návrh rozměru polotovaru..... | 28 |
| 4.4 Volba materiálu nástroje..... | 29 |
| 4.5 Povlakování nástrojů..... | 30 |
| 4.5.1 Povlakování CVD | 30 |
| 4.5.2 Povlakování PVD | 31 |
| 4.6 Příprava polotovaru před tvářením | 32 |
| 4.6.1 Dělení materiálu..... | 32 |
| 4.6.2 Mazání polotovaru | 32 |
| 5. Analýza základních parametrů tvářecích operací v programu QForm | 34 |
| 5.1 Analýza tvářené součásti | 34 |
| 5.2 Analýza tvářecího nástroje..... | 37 |
| 6. Návrh koncepce tvářecích nástrojů pro hydraulický lis Schmid T200 | 44 |
| 6.1 Opatření na snížení špiček napětí | 44 |
| 6.2 Technické parametry hydraulického lisu Schmid T200 | 45 |
| 7. Technicko ekonomické zhodnocení..... | 46 |
| 7.1 Srovnání využití materiálu | 46 |
| 7.2 Finanční srovnání nákladů na potřebný materiál | 47 |
| 8. Závěr | 49 |
| 9. Seznam použité literatury | 50 |
| 10. Přílohy..... | 51 |

Seznam použitého značení

| | | |
|----------------|--------|-------------------------------------|
| r | [mm] | poloměr polotovaru |
| p | [mm] | přídavek na opracování čelní plochy |
| d | [mm] | průměr polotovaru |
| l | [mm] | délka polotovaru |
| L | [mm] | celková délka tyče |
| x | [mm] | šířka upichovacího nože, kotouče |
| y | [mm] | šířka pilového listu |
| j | [ks] | počet kusů z jedné tyče |
| HB | [-] | tvrdost podle Brinella |
| HRC | [-] | tvrdost podle Rockwella |
| A ₅ | [%] | tažnost |
| Mn | [%] | mangan |
| Mo | [%] | molybden |
| Ni | [%] | nikl |
| P | [%] | fosfor |
| C | [%] | uhlík |
| Cr | [%] | chrom |
| Cu | [%] | měď |
| S | [%] | síra |
| Si | [%] | křemík |
| V | [%] | vanad |
| W | [%] | wolfram |

1. Úvod

Strojírenská výroba má v České republice dlouholetou tradici. V této oblasti patří k vyspělým zemím světa. Jedním ze základních odvětví strojírenské výroby je obrábění a tváření. Tváření by mělo postupně vytlačovat obrábění z těch oblastí výroby, v nichž je náhrada možná. Zvýšení podílu tváření ve strojírenské výrobě na zhruba třetinu z celkového objemu výroby je jednou z možností, jak docílit nárůstu produktivity práce. Tvářením lze docílit podstatné úspory nákladů na materiál, zvýšit přesnost výroby a v mnoha případech i zlepšit pracovní prostředí. Vzhledem ke vzrůstající konkurenci jsou strojírenské podniky nuceny neustále se přizpůsobovat stoupajícím trendům a požadavkům zákazníků a proto hledají nové, progresivnější a perspektivnější technologie. Strojírenské podniky jsou nuceny tyto nové technologie zavádět, neboť zákazník si žádá stále dokonalejší a přesnější výrobky. Tato diplomová práce se zabývá návrhem nového konstrukčního a technologického systému pákového kužele záběrového ústrojí jízdního kola.

Doposud byla při výrobě pákového kužele záběrového ústrojí jízdního kola používána konstrukční technologie, u které docházelo k častým závadám v důsledku vymačkávání tohoto kužele v místě nasazení páky volnoběžky jízdního kola a vzniku velkého procenta odpadu z vloženého materiálu, který se nadá již dále využít.

2. Tváření za studena - lisování

Je takové tváření, při kterém se nepřesáhne daná teplota.

Dělí se na:

Tváření plošné – při kterém výlisek nemění svoji tloušťku

Tváření objemové – při kterém objem (jaký tam vložíme) polotovaru zůstane u výlisku stejný, ale změní se tvar polotovaru.

Objemové tváření je jednou ze základních operací v technice lisování. Jeho velkou výhodou je značná úspora materiálu, snížení pracnosti, dosažení vyšší jakosti a často i zlepšení mechanických vlastností materiálu. Tažením za studena je rovněž zvýšena odolnost vláken při cyklickém namáhání. [1]

Toto tváření je technologií, při které se výrazně mění tvar polotovaru. Dochází k přetvoření tvaru materiálu za působení prostorové napjatosti, která vytváří podmínky pro velké plastické deformace, aniž by se porušila soudržnost tvářeného materiálu.

Deformace je vyvolána tlakem razníku a matrice, přičemž je v oblasti deformace dosaženo napětí přetvárného odporu. Tváření probíhá při teplotě nižší než je rekrytalizační teplota (max. 0,3 teploty tavení materiálu). Při této teplotě nedojde během tvářecího procesu k uzdravení deformované krystalové mřížky. To znamená, že materiál si zachová tvar způsobený deformací. [3]

2.1 Lisovací nástroje

Jednoduché – pro jeden pracovní úkon (např.: protlačování, přechování)

Postupové – pro dva a více pracovních úkonů, stejným nástrojem za sebou (např.: děrování, stříhání).

Sdružené – nástroje postupové nebo sloučené pro provádění pracovních úkon různého druhu (např...: stříhání, protlačování, přechování,...).

Sloučené – tj. pro zhotovení výlisku najednou, sloučením několika pracovních úkonů stejného druhu (při jednom zdvihu současně vystřihování a děrování).

2.2 Protlačování

Je technologie, při které působíme na materiál vysokými tlaky až 3000 MPa a materiál se chová jako tekutý. Nesmí se porušit, nástrojem jsou **protlačovadla**, získaný materiál – **protlaček**.

Podle směru pohybu tvářeného materiálu vzhledem k pohybu průtlačníku je protlačování:

- Dopředné - materiál teče ve směru pohybu razníku.
- Zpětné - materiál teče proti pohybu razníku.
- Sdružené - je kombinací obou výše uvedených způsobů.
- Stranové - materiál teče kolmo na pohyb razníku, kolmo k podélné ose polotovaru.
- Přechování - spočívá ve stlačování výchozího polotovaru a tím zvětšování jeho průřezu.
- Radiální - speciální způsob objemového tváření, při kterém lze dosáhnout vysokého stupně deformace.
- Kombinované - je kombinací jednotlivých uvedených způsobů objemového tváření za studena, pro výrobu tvarově složitých součástí.

Jeden z nejdůležitějších požadavků je **stupeň deformace**:

$$Z = \frac{S_0 - S_1}{S_0} \cdot 100 \quad [\%]$$

S_0 – původní průřez
 S_1 – konečný průřez

2.3 Zvláštní způsoby tváření za studena

- Metoda GUERIN
- Metoda MARFORM
- Metoda HYDROFORM
- Hydromechanické tažení – metoda HYDRO – MEC
- Rozšiřování kapalinou a pryží
- Rotační tlačení plechu
- Elektromagnetické tváření
- Tváření výbuchem
- Hydrostatické protlačování kovů

3. Rozbor stávající technologie výroby pákového kužele hnacího ústrojí

Pákový kužel (obr. 1) je součástí volnoběžky (obr. 2) jízdního kola. Tento je společně s dalšími díly volnoběžky našroubován na středovou osku, tvořící společně volnoběžku jízdního kola, která je hnacím ústrojím jízdního kola. Je samozřejmostí, že pákový kužel musí být vyroben co nejpřesněji, neboť na něj navazují jiné součástky volnoběžky.



Obr.1 – Pákový kužel

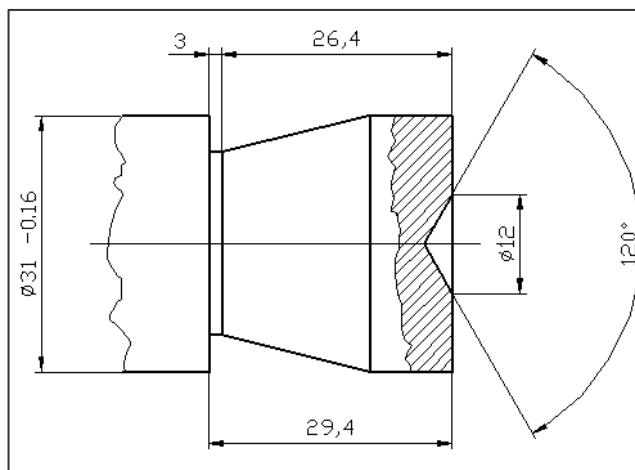


Obr. 2– Volnoběžka jízdního kola

3.1 Výrobní operace současné konstrukce

Operace č. 1

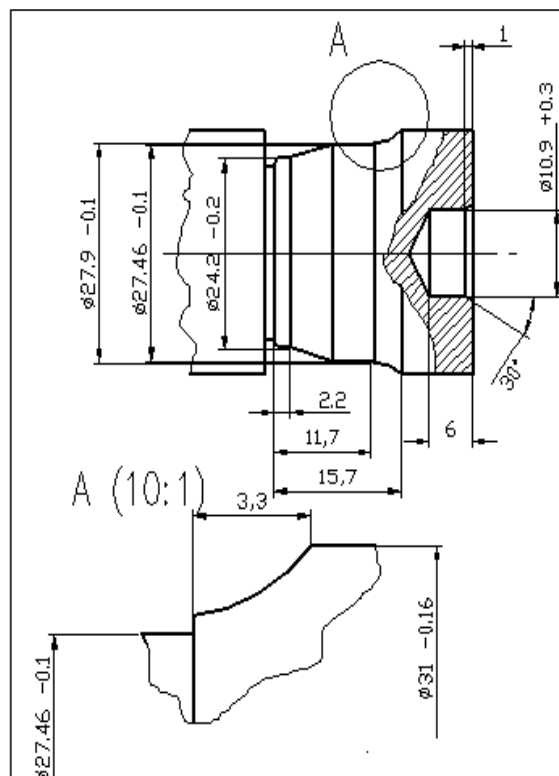
V první operaci se vysune doraz, následně se kotoučovým nožem hrubuje povrch a zarovná čelo. Do zarovnaného čela se navrtá otvor průměru 12 mm (obr. 3) a součást se pootočí do druhé polohy.



Obr. 3 – Schéma první operace

Operace č. 2

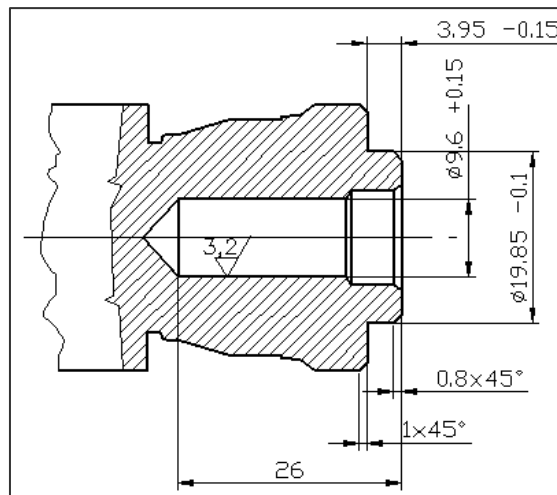
Dle výrobního výkresu se kotoučovým nožem soustruží povrch. Následně se vyvrtá otvor o průměru $10,9+0,3$ mm do hloubky 6 mm. Soustruží se kuličková dráha, rádius R 4,5 se zkouší kuličkováním. (obr. 4). Součást se pootočí do třetí polohy.



Obr. 4 – Schéma druhé operace

Operace č. 3

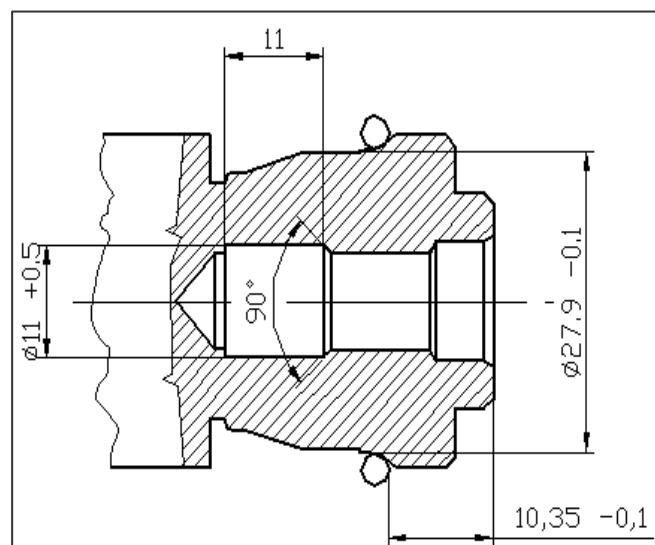
Ve třetí operaci se kotoučovým nožem soustruží čelo součásti dle výrobního výkresu. Následně je vyvrtán otvor o průměru $9,6+0,15$ mm do hloubky 26 mm, soustruží se průměr $19,85-0,1$ mm do hloubky $3,95-0,15$ mm (obr. 5). Součást se pootočí do čtvrté polohy.



Obr. 5 – Schéma třetí operace

Operace č. 4

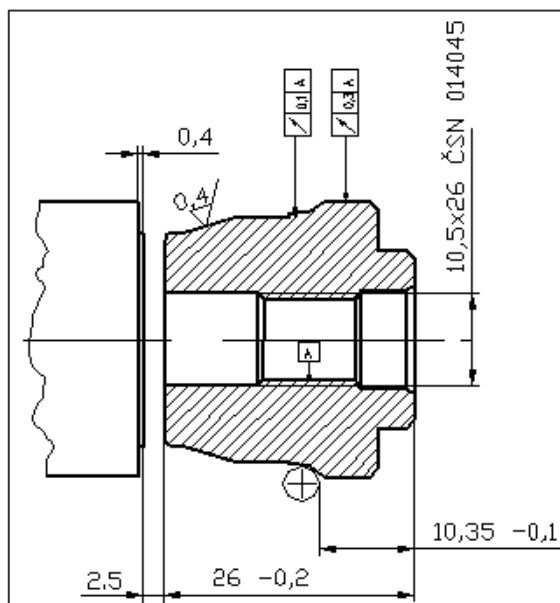
Soustruží se vnitřní zahloubení o průměru $11+0,5$ mm a hloubce 11 mm (obr. 6). Součást se pootočí do následující polohy.



Obr. 6 – Schéma čtvrté operace

Operace č. 5

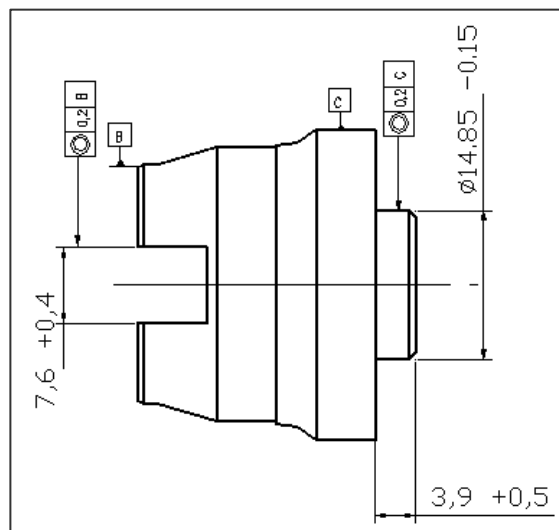
V poslední operaci se řeže závit M 10,5 x 26 mm (obr. 7) a po jeho zhotovení se součást upichuje. Následně je vysunut doraz a materiál se posune o délku potřebnou pro obrábění dalšího kusu.



Obr. 7 – Schéma páté operace

3.2 Frézování drážky

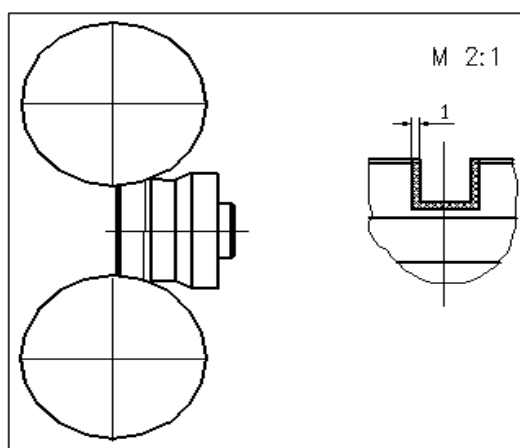
Pro frézování drážky se používá jednoúčelová kotoučová fréza AM - 13. Tato fréza má výrobní normu na jednom stroji 325 ks/hod. Součást je pneumaticky upnuta na trn, na kterém se frézuje drážka a osazení pro páku. Hotové kusy se vkládají do bedny MARS po 100 ks osazením pro páku nahoru. U každého 100. kusu se měřidly provádí kontrola. Na obrázku 8 je znázorněn tvar a rozměr drážky a osazení pro páku.



Obr. 8 – Frézování drážek

3.3 Odjehlení

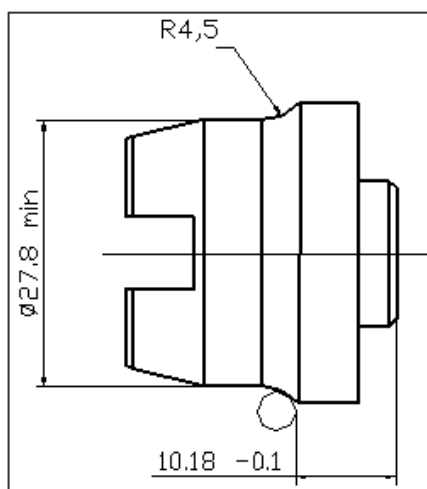
Na trn se pneumaticky upne součást. Pro odjehlování se používá fréza s 24 zuby (obr. 9). Hotový kus se vyjme a po 200 kusech je vkládán do děrovaného koše a následně se opere. Poté se vkládají po 100 kusech do beden MARS.



Obr. 9 – Odjehlení

3.4 Broušení kulové dráhy

Při broušení se Dia orovnávač o průměru 8 x 100 mm (upravený na délku cca 30 mm) a dále brusný kotouč 400 x 10 x 127 mm. Součásti (viz. příloha č. 1) jsou vkládány do zásobníku, kde se kuličkují a po broušení součást padá do bedny. U broušení se kontroluje vzhled kuličkové dráhy, tvar posazení kulové dráhy, zalisované nečistoty, povrch broušené plochy, prasklé kuličky a dobře seřazený oplach. Po 150 kusech se kontroluje souosost a čistota. Viz obr. 10.



Obr. 10 – broušení kulové dráhy

3.5 Kalení a cementování

Tato operace se provádí za účelem dosažení vysoké tvrdosti a dobré odolnosti proti opotřebení. Tyto vlastnosti získá ocel zakalením. Ocel se nejprve ohřívá nad austenitizační teplotu, a pak se ochladí rychlostí větší, než je kritická rychlost dané oceli. Austenit přitom transformuje v rozmezí teplot $M_s - M_f$ na martenzit. Kalicí teplota se volí podle rovnovážného diagramu asi 30 až 80° nad teplotou A_{c3} . U uhlíkových ocelí se setrvává na teplotě několik minut, ale maximálně 1 hodinu.

Pokud chceme dosáhnout u oceli účinného zakalení, musí být tato ocel kalitelná. Kalitelnost ovlivňuje především množství obsaženého uhlíku v oceli. Čím vyšší je obsah uhlíku, tím je ocel po zakalení tvrdší. Tvrdost po kalení ovlivňuje kalící teplota.

U výrobků z konstrukčních ocelí, je posuzována nejen tvrdost po kalení, ale i hloubka zakalení. Rovněž se posuzuje i možnost zakalit součást v celém průřezu. Prokalitelnost oceli je rovněž závislá na obsahu přísad a je dána především tvarem diagramu anizotermického rozpadu austenitu, zejména kritickou rychlostí ochlazování. Při rostoucím obsahu slitinových přísad klesá kritická rychlost ochlazování a v odpovídající míře roste hloubka prokalení. [1,2]

Postup při kalení a cementování:

Na pracovní věšák se navěsí 1000 kusů součástí a kladkostrojem se vloží do přehřívací pece. Tato pec je přehřívána na teplotu 350 °C na dobu 30 minut. Poté se cementuje při 900 °C 180 minut. Cementační vrstva je 0,5 – 0,7 mm, tvrdost min. 80 HRA. Před vlastním vytažením se musí rozrušit vrstva grafitu na hladině. Kalení a popouštění se provádí rychlým převezněním tyčí po 500 ks do termální lázně AS 140. Samotné popouštění probíhá v termální lázni o teplotě 180°C po dobu 60 minut. Následuje její oplach ve vodě při teplotě 50 °C po dobu 10 minut a druhý stupeň oplachu ve vodě při teplotě 70 °C po dobu 10 minut, kde ještě navíc probublává vzduch. Konečnou fází je sušení ve vzduchu při teplotě 50 °C po dobu 20 minut a následně se po 150 kusech součástí vkládají do bedny MARS.

3.6 Moření, zinkování, chromátování

Mořením se chemickým způsobem odstraňují oxidické nečistoty (např. rez, okuje) a to z povrchu kovu. Působením kyselin nebo louhů se oxidy převedou na rozpustné soli a tyto se z povrchu opláchnou vodou. Moření ocelí je prováděno nejčastěji v kyselinách. Nejčastěji používanější kyselinou je kyselina sírová, kyselina solná a kyselina fosforečná.

Ocelové předměty jsou před korozí chráněny anodickým zinkovým povlakem. Životnost zinkových povlaků lze zvýšit chromátováním nebo fosfátováním.

Chromátování je chemická úprava povrchu, která vytváří na kovech ochranné pasivační vrstvy chromových sloučenin. V důsledku těchto vrstev je kov chráněn před lehkým korozním namáháním. [2]

Moření se provádí v kyselině solné. Za jejího přispění vzniká čistý povrch, kdy musí být dostatečná rychlosti moření a teplota okolního prostředí. Rozpouštění oxidů a vývoj vodíku je rovnoměrný. Rozpouštění oceli je pomalejší. Zinkování v přípravku Fe/Zn3cB. Následně následuje oplach.

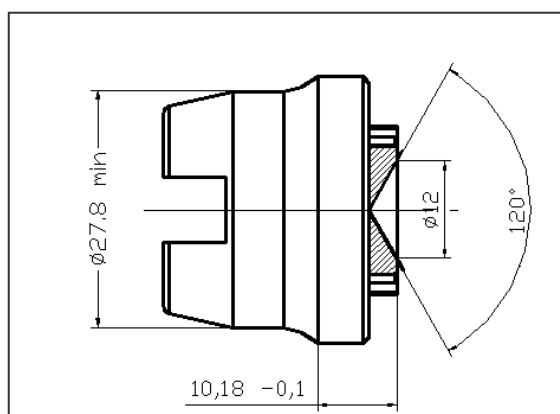
4. Návrh konstrukční a technologické změny záběrového ústrojí jízdního kola

Operace č. 1

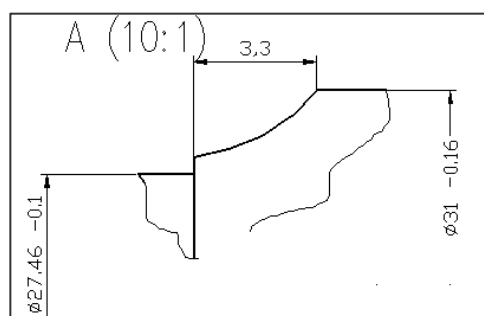
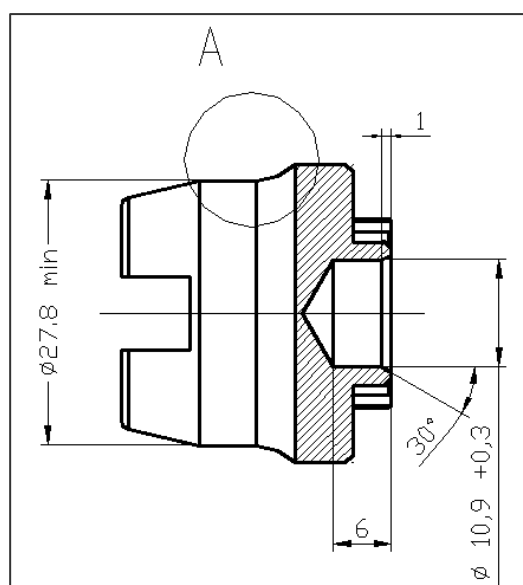
Do matrice je vložen polotovar o průměru 20 mm a délce 48,7 mm a lisuje se na předem požadovaný tvar. Toto lisování je prováděno na jeden zdvih, ale ve třech za sebou jdoucích etapách, kdy v první etapě se polotovar natlačí do dna matrice a je vylisován záběrový tisícíhran (viz. příloha č. 2). Tento je vylisován na hotový tvar. Následně se vylisuje tvar součásti, který je rovněž vylisován na hotovo, kdy jsou přidány pouze přídavky na obrábění funkčních ploch a to na kulové dráze a na kuželu. Tento přídavek je 0,2 mm. Ve třetí etapě se lisuje drážka. Po dokončení lisování vzniká v místě přechodu tisícíhranu a vlastního těla polotovaru výronek, který je následně ostřížen. Poté je polotovar vyhazovačem vyhozen ven a umístěn do přepravní bedny MARS.

Operace č. 2

Vylisovaný výlisek se upne do soustružnického automatu AN 60 a vnější předlisovaný tvar se soustruží na požadovaný tvar dle výrobního výkresu. Soustruží se pouze funkční plochy a sražení hrany v místě výronku. Ostatní rozměry jsou již shodné po lisování s výrobním výkresem. Navrtá se otvor průměru 12 mm. (obr. 11). Následně je vyvrtán otvor o průměru $10,9 \pm 0,3$ mm do hloubky 6 mm. Soustruží se kuličková dráha. Rádus R 4,5 se zkouší kuličkováním (obr. 12). Součást se pootočí do následující polohy.



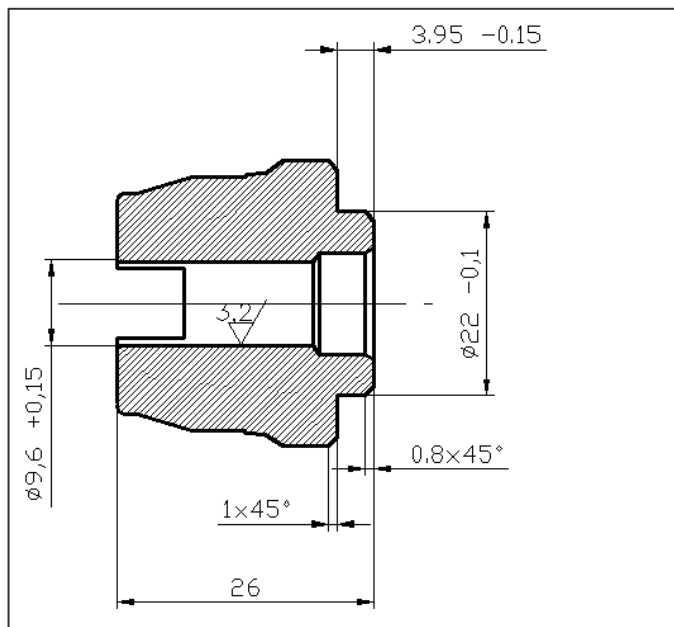
Obr. 11 – Schéma druhé operace



Obr. 12 – Soustružení kuličkové dráhy

Operace č. 3

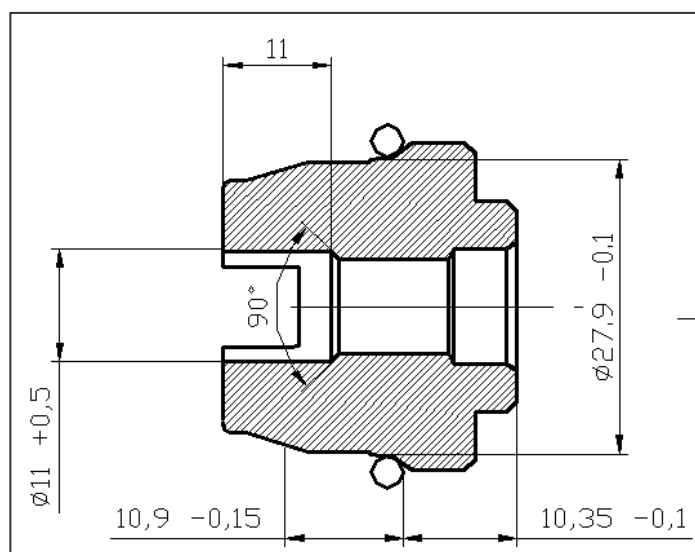
Vyvrátá se otvor o průměru $9,6+0,15$ mm přes celou délku součásti (obr. 13). Součást se pootočí do následující polohy.



Obr. 13 – Schéma třetí operace

Operace č. 4

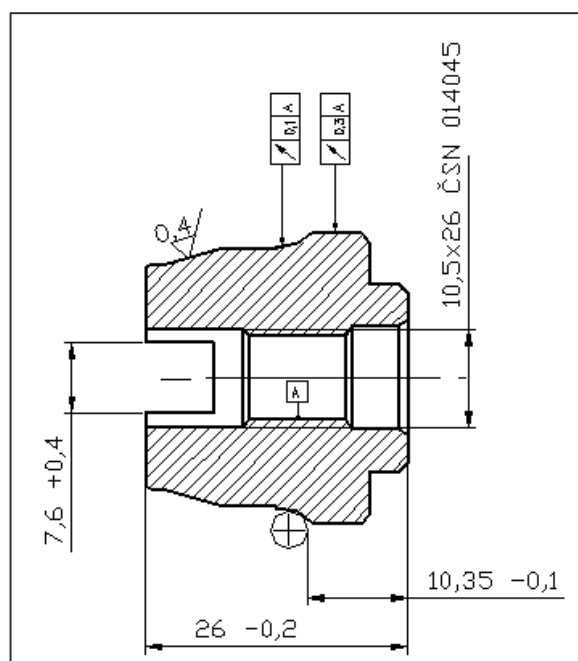
Soustruží se vnitřní zahloubení o průměru $11+0,5$ mm a hloubce 11 mm (obr. 14). Součást se pootočí do následující polohy.



Obr. 14 – Schéma čtvrté operace

Operace č. 5

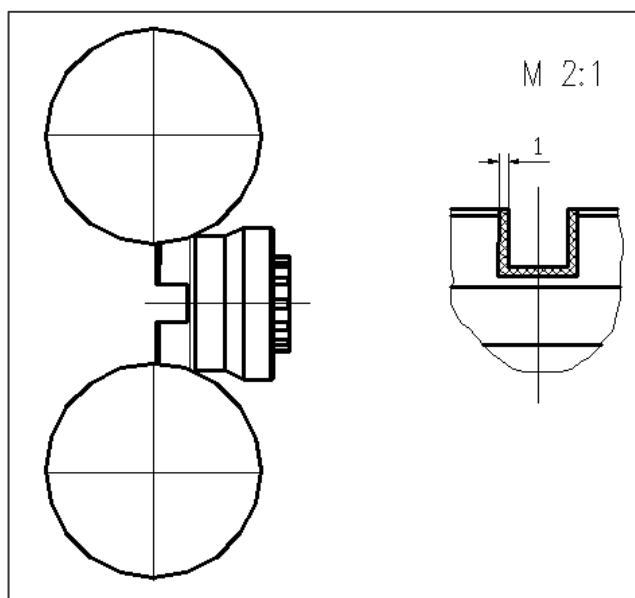
V poslední operaci se řeže závit M 10,5 x 26 (obr. 15). Po každém ostření nástrojů nebo výměně materiálu se měřidly provádí kontrola rozměrů ze všech vřeten.



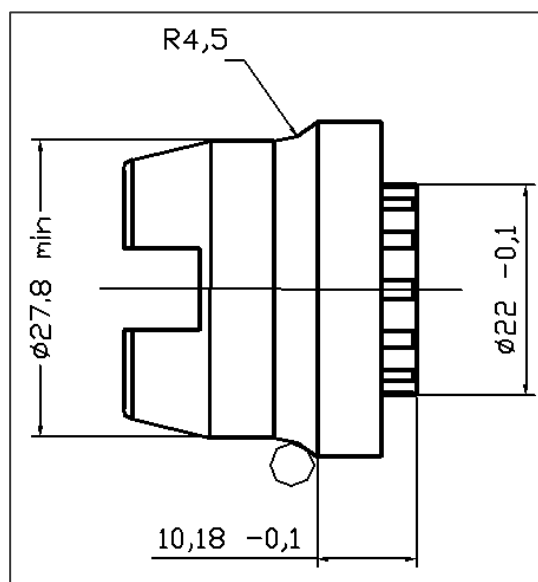
Obr. 15 – Schéma páté operace

4.1 Odjehlení, broušení kulové dráhy, kalení, cementování, moření, zinkování a chromátování

Tyto následující operace jsou analogické stávající výrobě, viz. kapitoly 3.3. – 3.6. (obr. 16, 17).



Obr. 16 - Odjehlení



Obr. 17 – Broušení kulové dráhy

4.2 Volba materiálu polotovaru

K protlačování je používáno především ocelí s velkou odolností proti stárnutí. Nejnáročnější výlisky se vyrábějí z oceli uklidněné hliníkem. Tyto oceli mají homogenní chemické složení. Rovněž je u nich zaručený stupeň čistoty s vysokou tvárností. Stálosti mechanických vlastností výlisku se dosáhne tepelným zpracováním před tvářením. Následná dosažitelná hospodárná přesnost výlisků je IT 8 až IT 10. [3]

Požadované vlastnosti ocelí pro objemové tváření:

- Nejvhodnější ocelí k protlačování je ocel žíhaná na měkko.
- K protlačování by se měla používat ocel co nejměkčí. Její struktura má být feriticko- perlitická, přičemž perlit je zcela globulární. Doporučený průměr velikosti zrna je 5 až 8 podle ČSN 42 0463.
- Mechanické vlastnosti – co nejvyšší tažnost , co nejnižší mez kluzu, co nejvyšší kontrakce (min. 55 %), poměr meze kluzu k pevnosti je 0,5 až 0,6.
- Chemické složení oceli – nízký obsah uhlíku, nízký obsah nekovových vměstků, minimální obsah fosforu a síry, minimální výskyt staženin a vycezenin.

Volím materiál 12 020 (dle ČSN 41 2020), jde o tyče válcované za tepla.

Chemické složení materiálu:

Chemické složení materiálu je uvedeno v Lexikonu technických materiálů a je vypsáno v tabulce níže (tab. 1).

| C [hm. %] | Mn [hm. %] | Si [hm. %] | Cr [hm. %] | Ni [hm. %] | Cu [hm. %] | P [hm. %] | S [hm. %] |
|--------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|--------------|--------------|
| 0,13 – 0,20 | 0,60 - 0,90 | 0,15 - 0,40 | max 0,25 | max 0,30 | max 0,30 | max 0,040 | max 0,40 |

Tab. 1 – Chemické složení materiálu 12 020

Mechanické vlastnosti materiálu:

Mechanické vlastnosti materiálu jsou uvedeny v Lexikonu technických materiálů a jsou vypsána v tabulce níže (tab. 2).

| | |
|--|---------|
| Mez kluzu R_e [MPa] | 225 |
| Mez pevnosti R_m [MPa] | min 390 |
| Tažnost A_5 [%] | 26 |
| Tvrdost HB | min 111 |
| Kontrakce Z [%] | 55 |

Tab. 2 - Mechanické vlastnosti materiálu 12 020

4.3 Návrh rozměru polotovaru

Při návrhu rozměru polotovaru pro protlačování se vychází z předpokladu stálosti objemu. Toto předpokládá, že výchozí objem polotovaru je stejný jako konečný objemu vylisku. V konečném objemu vylisku se musí počítat s přírůstkem pro případné dokončení obráběním.

Pro polotovar vylisku je zvolen průřez kruhové rondely, která vznikne rozřezáním tyče. Pomocí programu AutoCAD je zjištěn objem navrhovaného vylisku a pomocí vzorce (1) je vypočítána potřebná výška polotovaru. Zjištěný objem polotovaru při tváření lisováním je $15299,56 \text{ mm}^3$. Průměr polotovaru při lisování $d = 20 \text{ mm}$.

Výpočet výšky polotovaru při lisování:

$$h = \frac{4 \cdot V}{\pi \cdot d^2} = \frac{4 \cdot 15299,56}{\pi \cdot 20^2} = 48,7 \text{ mm} \quad (1)$$

4.4 Volba materiálu nástroje

Volitelnost materiálu na výrobu nástroje je závislá na celé řadě činitelů. Především však na vysoké tvrdosti, pevnosti, dostatečné houževnatosti, stálosti vlastností za tepla, odolnosti proti opotřebení, prokalitelnosti atd. Optimální kombinace se dosáhne volbou materiálu nástroje a jeho tepelným zpracováním. Musí však být brán zřetel na charakteristické namáhání nástroje a na to, zda se z nich vyrábějí funkční části nástroje, které přicházejí přímo do styku se zpracovávaným materiálem, nebo s konstrukční částí, jejichž úkolem je zajištění funkce nástroje.

Zvolený materiál je 19 830 (dle ČSN 41 9830). Jedná se o rychlořeznou výkonnou molybden - vanadovou ocel s vysokou houževnatostí.

Chemické složení materiálu:

Chemické složení materiálu je uvedeno v Lexikonu technických materiálů a je vypsáno v tabulce níže (tab. 3).

| C | Mn | Si | P | S | Cr | Mo | W | V |
|---------|--------------|--------------|---------------|---------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| [hm. %] | [hm. %] | [hm. %] | [hm. %] | [hm. %] | [hm. %] | [hm. %] | [hm. %] | [hm. %] |
| 0,8-0,9 | max. 0,45 | max. 0,45 | max. 0,035 | max. 0,035 | 3,8 - 4,6 | 4,5 - 5,5 | 5,5 - 7,0 | 1,5 - 2,2 |

Tab. 3 – Chemické složení materiálu 19 830

Mechanické vlastnosti materiálu:

Mechanické vlastnosti materiálu jsou uvedeny v Lexikonu technických materiálů a jsou vypsány v tabulce níže (tab. 4).

| | |
|------------------------------------|-------------|
| Mez kluzu v tlaku R_{et} [MPa] | 3500 - 3600 |
| Pevnost v ohybu R_{mo} [MPa] | 4400 |
| Tvrdost HRC | 65 - 66 |

Tab. 4 - Mechanické vlastnosti materiálu 19 830

4.5 Povlakování nástrojů

Nástroj je povlakován menší tenkou vrstvou materiálu. Tento materiál má vysokou tvrdost a vynikající odolnost vůči opotřebení (povlak je tenká vrstva, která má vyšší tvrdost i pevnost, než shodný homogenní materiál v jakékoli jiné formě), kdy je nanášen na podkladový materiál. Tyto vlastnosti jsou zapříčiněny především tím, že povlakový materiál neobsahuje žádné pojivo, jeho zrnitost je o jeden i více řádů jemnější a má i méně strukturních defektů (póry, dutiny). V důsledku čehož, tvoří překážku proti difúznímu mechanismu opotřebení nástroje. Jsou dva základní způsoby povlakování, CVD a PVD.

4.5.1 Povlakování CVD

Povlakování CVD (Chemical Vapour Deposition = chemické napařování z plynné fáze) probíhá za vysokých teplot (900 - 1200 °C). Výhodou tohoto způsobu povlakování je výborná adheze mezi podkladem a povlakem, možnost nanesení vrstev o větší tloušťce (10 - 13 μm), umožňuje povlakování předmětů složitějších tvarů. Má všestranný účinek a variabilitu typů povlaků. Nevýhodou může být ovlivnění podkladového materiálu (snížení ohybové pevnosti) a nemožnost povlakovat ostré hrany a vzniklá tahová zbytková napětí v povlaku.

Chemický proces tohoto způsobu povlakování je založen na reakci plynných chemických sloučenin v těsné blízkosti povrchu podkladového slinutého karbidu a následném uložení produktů reakce na tomto povrchu. Základním požadavkem je, aby výchozí plyny obsahovaly stabilní, ale přitom prchavou sloučeninu, která se v důsledku přivedení energie (ohřevem, plazmovým obloukem, laserem) chemicky rozkládá. Produkty tohoto rozkladu jsou pak ukládány na ohřátý povrch povlakovaného předmětu a působí zde jako katalyzátor. Aby proběhla požadovaná reakce (vytvořená vrstva povlaku), musí být v plynech obsažen i nekovový reaktivní plyn (např. N_2).

4.5.2 Povlakování PVD

Metoda PVD (Physical Vapour Deposition = fyzikální napařování) je charakteristická nízkými pracovními teplotami (podle údajů pod 600 °C, 350 °C nebo dokonce 180 °C). Tento způsob povlakování vytváří zbytková tlaková napětí v povlaku a nemá nepříznivý vliv na vlastnosti podkladu a je schopen povlakovat i ostré hrany. Nicméně vyžaduje mnohem důkladnější přípravu povrchu vzorku před vlastním povlakováním a to především odmašťování a čištění. V důsledku toho vytváří tenčí vrstvy povlaků a to kolem 5 μm. Rovněž je omezena i možnost výběru typů povlaků.

Fyzikální proces tohoto povlakování se děje ve středním až vysokém vakuu, tj. při tlaku pod 1 Pa. Při napařování je čistý kov (obvykle Ti) odpařován pomocí elektrického oblouku, svazkem elektronů, nebo klasickým odporovým ohřevem. Emitované atomární částice reagují s atmosférou komory, která je tvořena inertními a reaktivními plyny (např. Ar a N₂) a s tepelnou energií 0,1-0,5 eV dopadají na povrch substrátu, kde se usazují ve formě tenké vrstvy homogenního povlaku, pevně adhezně spojeného s podkladem.

Napařování je prováděno za využívání elektrického výboje v plynné atmosféře komory, kdy vznikají kationy (kladné ionty), kterými se bombarduje katoda z čistého kovu, na níž je připojen záporný pól elektrického napětí 0,5-5,0 KV. Vysokou kinetickou energií iontů jsou uvolněny z terče čistého kovu částice potřebného chemického složení (závisí na použitém kovu a složení plynné atmosféry), které se následně usazují na povrchu substrátu a vytvářejí tak požadovaný povlak.

Iontová implantace je proces, při kterém je využívána kombinace napařování a napařování. Protože je mezi substrátem (katoda, záporný potenciál 50 až 1000 V) a odpařovačem vytvořeno silné elektrické pole (rozdíl potenciálů 10⁴ V a více), dojde k elektrickému výboji v plynné atmosféře, kdy ionizuje částice plynu, ale i odpařené částice čistého kovu. Touto vzniklou reakcí iontů vzniká povlak, který se usazuje na povrchu předmětů vsázky. Daná metoda (v menší míře i napařování) je v důsledku

plazmaticky aktivovaného procesu charakterická zvýšeným podílem iontů v toku materiálu.

K nevýhodám těchto uvedených PVD metod patří relativně složitý vakuový systém a nutnost pohybovat povlakovanými předměty k zaručení rovnoměrného ukládání povlaku po celém jejich povrchu (tento požadavek souvisí s tzv. stínovým efektem, který způsobuje u této metody, že na plochách, které neleží ve směru pohybu odpařovaných částic, se vytváří nedokonalá vrstva povlaku, případně se povlak netvoří vůbec). [4]

4.6 Příprava polotovaru před tvářením

4.6.1 Dělení materiálu

Dělení materiálu je prováděno na automatické pásové pile STG 220 GA. Do vodicích lišt jsou vedle sebe vloženy čtyři tyče, které se upnou. Tyče jsou upínány se shora a ze strany. Následně jsou z kraje uříznuty 3 mm, kterými se zarovnají čela. Následně je spuštěn automatický cyklus řezání a podle zvolených rozměrů je tyč nařezána na požadované kusy. Používají se pilové pásy 2710 x 1 x 25 dle ČSN 22 26900.

4.6.2 Mazání polotovaru

Mazání je používáno převážně k zabránění přímého styku činných ploch nástroje a tvářeného kovu. Mezi nástrojem a kovem vznikne tenký mazací film, v jehož důsledku je sníženo tření a zároveň je ochlazován nástroj. Rovněž je mazivem a to jeho druhem a množstvím ovlivněna kvalita výlisku. Jako maziva jsou doporučovány živočišné a rostlinné tuky, ve vodě rozpustná mýdla, neemulgující minerální oleje různé viskozity s přísadami mastných kyselin a chemicky působících látek atd.

Poznámka: Při přechodu výroby z třískového obrábění na výrobu objemovým tvářením za studena dochází ke zpevnění materiálu pákového kužele a k úspoře materiálu, kdy se

vnější tvar lisuje s nepatrným přídavkem, který je potřebný na obrobení funkčních ploch.

5. Analýza základních parametrů tvářecích operací v programu QForm

Program QForm je simulačním programem, kdy představuje novou generaci softwaru a je využíván pro vytváření simulací v tváření. Je navržen a vyvinut tak, aby jej bylo možno používat přímo ve výrobní sféře, ale mohou jej efektivně využívat například také studenti nebo pracovníci výzkumu. Jeho název je tvořen zkratkou ze slov Quick Metal Forming Simulation.

QForm je založen na propracovaných algoritmech metody konečných prvků (Finite Element Method, FEM) vyvinutých a v průběhu let zlepšovaných odborníky firmy Quantor Ltd. Metody používané v aplikacích QForm byly ověřeny v praxi a mezinárodními zkouškami. Výsledky simulací jsou zobrazovány současně s postupem dané simulace. Program je schopen animovat výsledky simulace v režimu přehrávání.

Model tváření kovů realizovaný v QForm odpovídá jedna ku jedné reálnému procesu tváření. To znamená, že pokud uživatel použije skutečná technologická data, poskytne mu simulace reálné a úplné informace o teplotě a deformaci v materiálu, síle, energii a dalších důležitých parametrech procesu tváření.

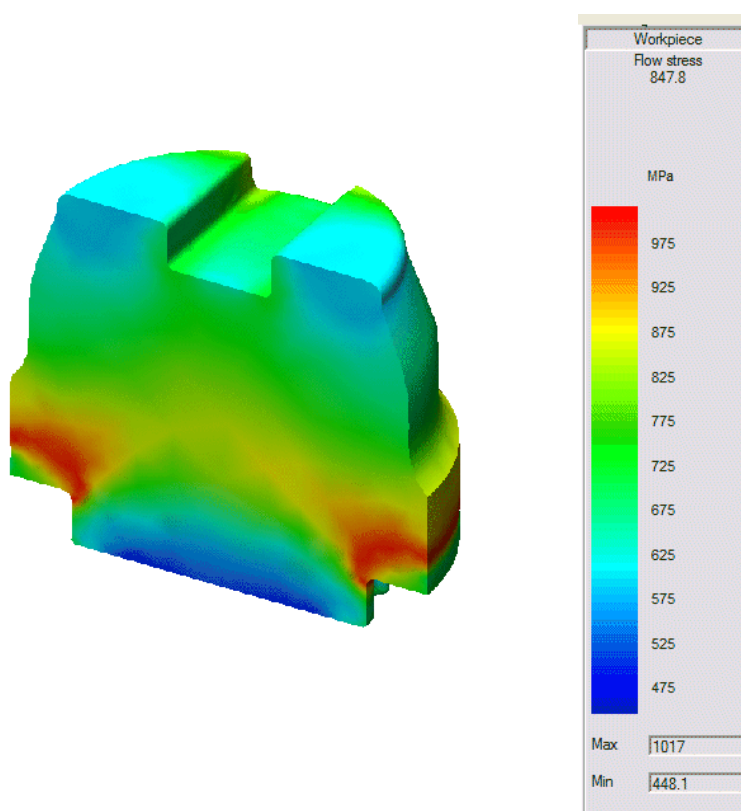
Program pomáhá vybrat polotovary, vyhodnotit kapacitu lisu, optimalizovat tvary předlisku a nástrojů, vybrat vhodnou teplotu polotovaru, navrhnout odpovídající výronek, analyzovat vliv tření na materiál nástroje, zvolit správné mazivo, analyzovat napětí v nástroji, vypočítat velikost přetvárné síly (viz. příloha č. 3) a mnohé další. Vzhledem k tomuto je možné provádět vývoj na počítači, který by byl jinak velice nákladný a složitý. [5]

5.1 Analýza tvářené součásti

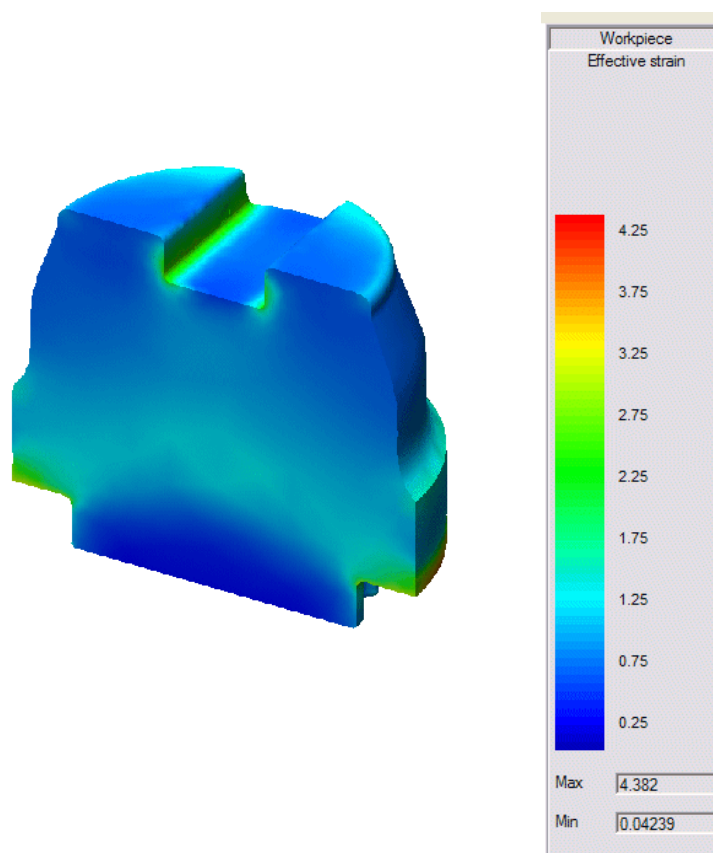
Na obrázku 18 je znázorněn deformační odpor, kdy jsou protlačeny křivky. Zde je vznik kritického místa a to při kontaktu polotovaru s razníkem v místě křivek.

Efektivní deformace je znázorněna na obrázku 19, přičemž největší je v místě styku razníku a polotovaru. K největší deformaci dochází v místě styku polotovaru s razníkem a s vyhazovačem.

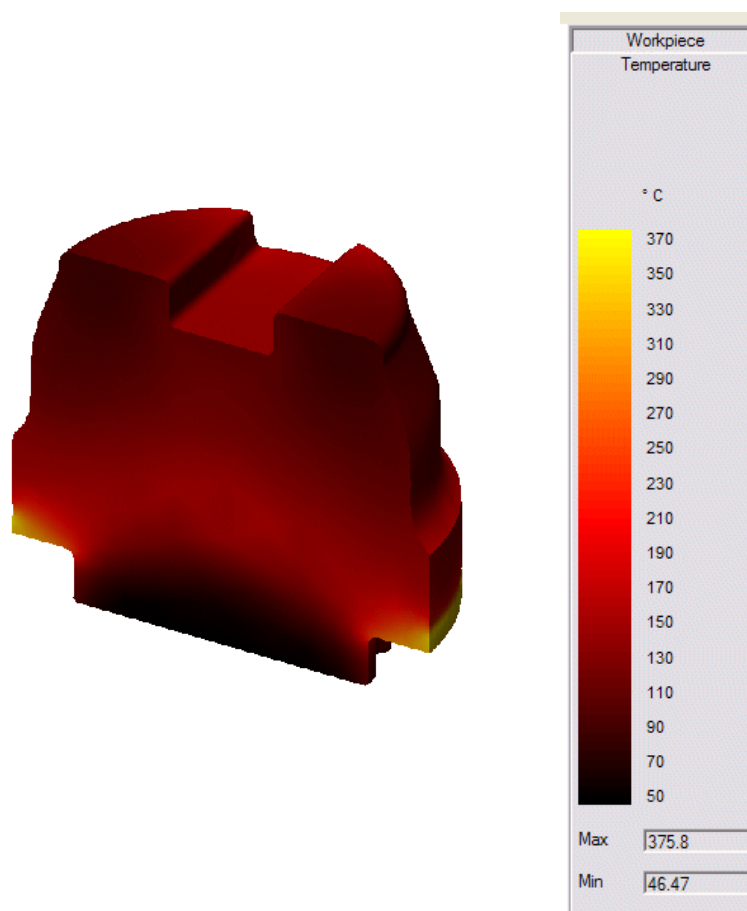
Na obr. 20 je znázorněna teplota a to až 375,8 °C. Maximální je v místě přechodu mezi křivkami. Jejím důsledkem je možnost vzniku vad za provozu záběrového ústrojí. Nejvyšší teplota vzniká v místě styku polotovaru s razníkem a vyhazovačem.



Obr. 18 – Deformační odpor



Obr. 19 - Efektivní deformace

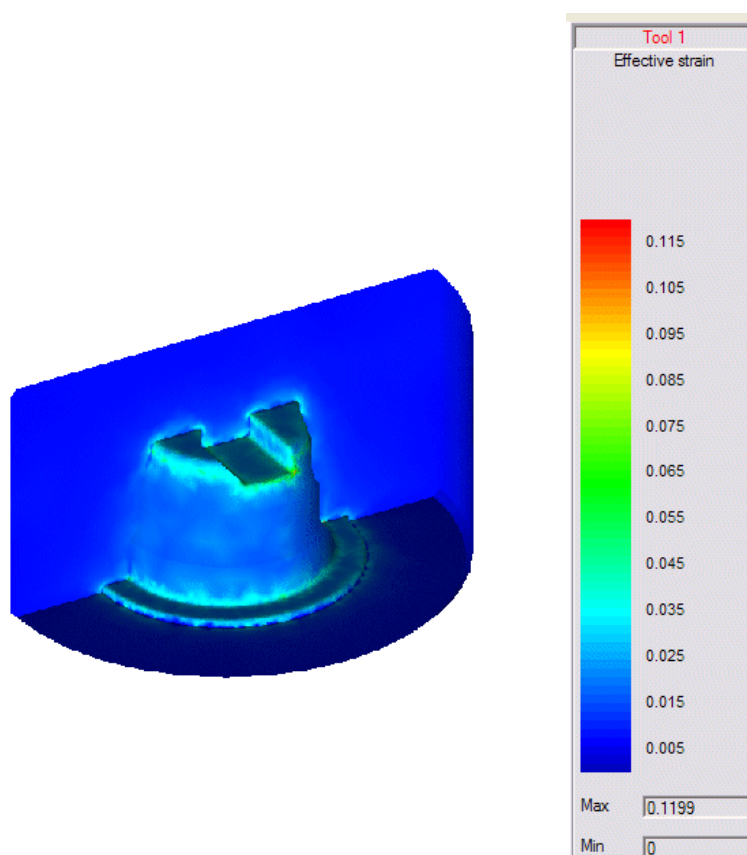


Obr. 20 - Teplota

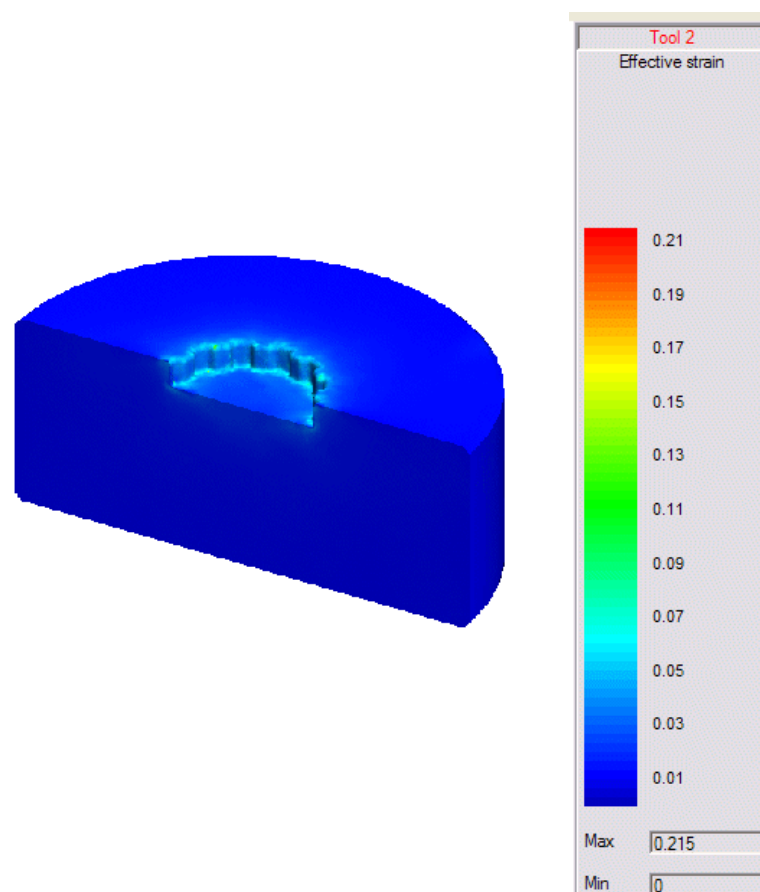
5.2 Analýza tvářecího nástroje

Efektivní deformace nástroje a matrice jsou znázorněny na obrázku 21. Na obrázku 22 je znázorněno efektivní napětí nástroje a matrice. Kritické místo vzniká v oblasti mezi segmenty, které tváří křivky.

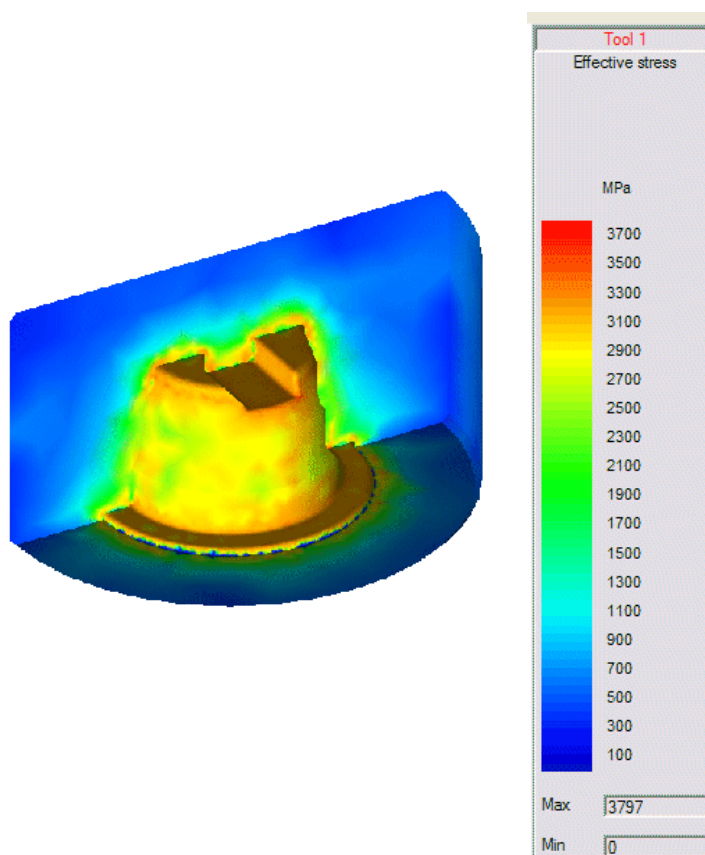
Větší životnosti nástroje lze dosáhnout odstraněním špiček napětí v kritických místech. Tohoto lze dosáhnout různými konstrukčními způsoby, které jsou uvedeny v následující kapitole.



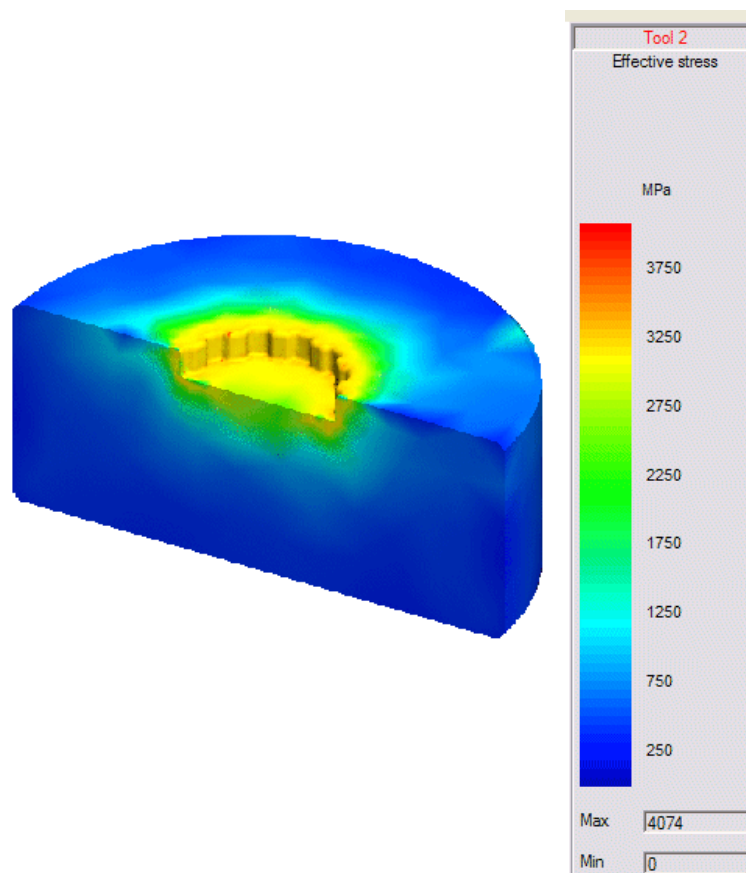
Obr. 21 a) – Efektivní deformace nástroje



Obr. 21 b) – Efektivní deformace nástroje - matrice

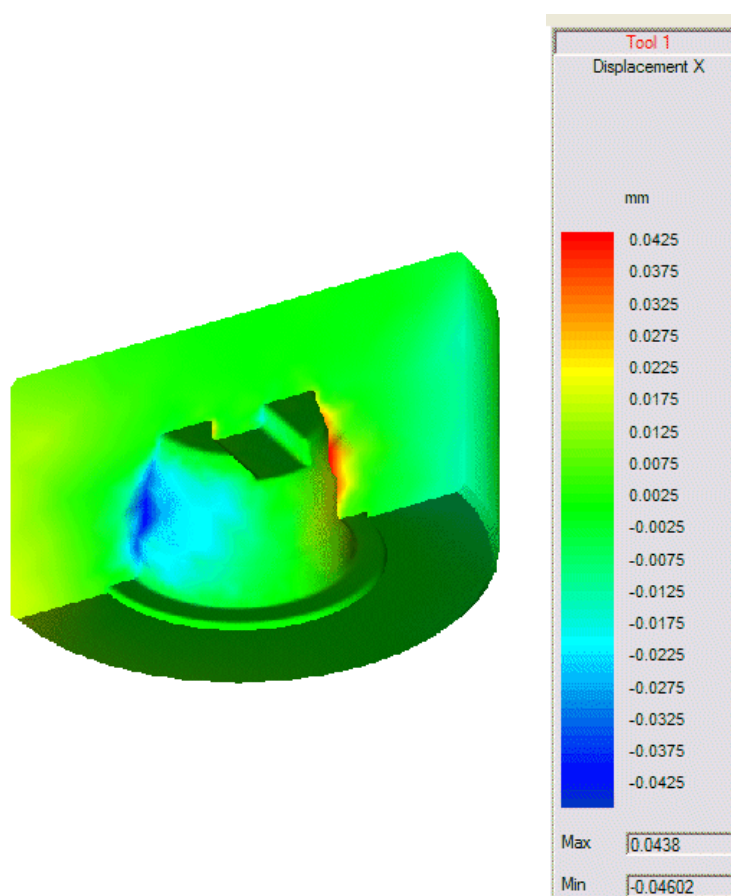


Obr. 22 a) – Efektivní napětí nástroje

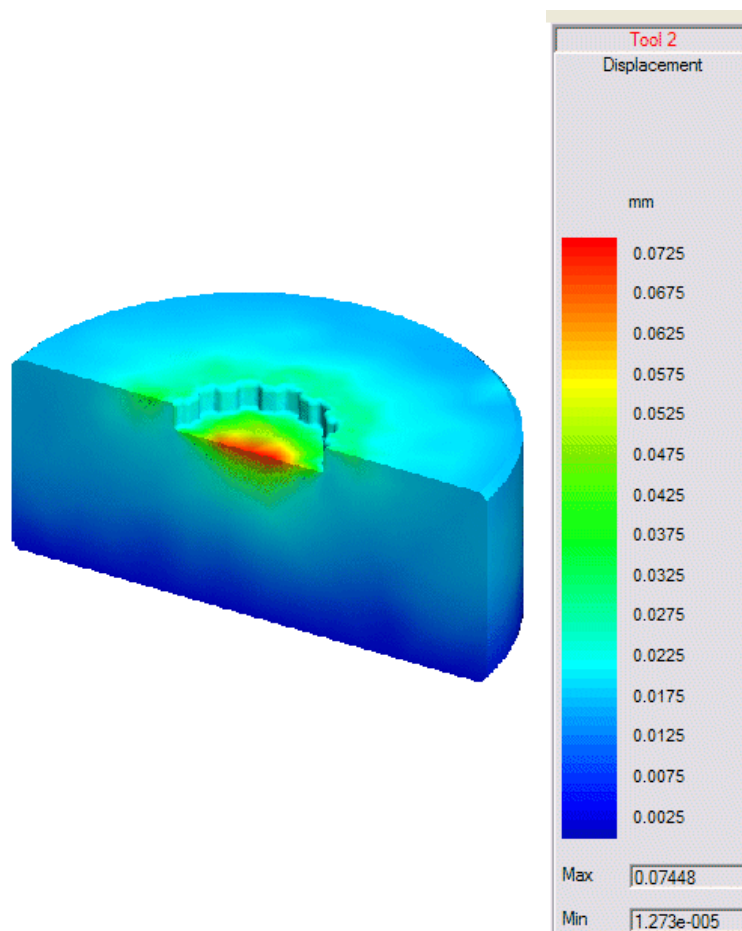


Obr. 22 b) – Efektivní napětí nástroje - matrice

K posunutí nástroje dochází v dolní oblasti mezi segmenty, jimiž se vytváří křivky (obr. 23).



Obr. 23 a) – Posunutí nástroje



Obr. 23 b) – Posunutí nástroje – matrice

6. Návrh koncepce tvářecích nástrojů pro hydraulický lis Schmid T200

Nejjednodušším řešením je tváření součástí a následné její obrobení, čímž v nástroji nevzniká tak velké namáhání. V jeho důsledku bude mít nástroj vyšší trvanlivost. Toto se kladně promítne do nižší ceny na pořízení nástroje.

6.1 Opatření na snížení špiček napětí

Analýzou tvářecích nástrojů v simulačním programu QForm byly zjištěny špičky napětí. Tyto se dají odstranit několika konstrukčními způsoby.

Tlaková čočka v razníku:

Tento způsob snižuje napětí a to tím, že tlaková čočka přenáší veškeré tlaky v jejím místě. Čočka je vyrobena z měkčího materiálu než je samotný nástroj a je snadno vyměnitelná.

Armování razníků:

U jednoplášťových razníků ve většině případech protlačování dochází k tomu, že pevnostně nevyhovují. Ve většině případech se používá bandážování zděremi, které dovoluje přenést extrémní namáhání při hospodárném využití materiálu razníku a jeho snadném způsobu montáže.

Dělený vyhazovač:

Špičky napětí vyhazovače lze odstranit také kombinací více těles.

6.2 Technické parametry hydraulického lisu Schmid T200

| | |
|---------------------------------|---------------|
| Maximální síla..... | 2000 KN |
| Produkce..... | 4 – 15 ks/min |
| Rychlost tváření..... | 26 mm/s |
| Maximální délka obrobku..... | 60 mm |
| Maximální délka polotovaru..... | 180 mm |
| Maximální průměr obrobku..... | 90 mm |

7. Technicko ekonomické zhodnocení

Objemové tváření je výhodnější než výroba třískovým obráběním, a to hlavně z důvodu úspory materiálu. Rovněž je zde sníženo procento odpadu a materiál součástí je v důsledku tváření zpevněn. Objemové tváření je vyznačováno také vysokou produktivitou a oproti třískově obráběným součástem mají tvářené součásti i lepší mechanické vlastnosti. Naproti tomu jsou však poměrně vysoké náklady na pořízení nástrojů. Vzhledem k těmto okolnostem se objemové tváření vyplatí pouze v hromadné výrobě.

7.1 Srovnání využití materiálu

V programu AutoCAD je zjištěn objem pákového kužele vyráběného třískovým obráběním a pomocí vzorce (2), je vypočítán objem polotovaru. Následně je pomocí programu AutoCAD zjištěn objem záběrového ústrojí vyrobeného lisováním. Pomocí vzorce (3) je vypočítán objem polotovaru. Odečtením objemů se získá objem odpadového materiálu, ze kterého se vypočítá využití materiálu. Výsledky jsou uvedeny pro srovnávací tabulce (tab. 5).

Pro třískové obrábění je potřeba tyč ϕ 32 mm x 29,4 mm, objem se vypočítá ze vzorce:

$$V = \pi \cdot r^2 \cdot l = \pi \cdot 16^2 \cdot 29,4 = 23644,88 \text{ mm}^3 \quad (2)$$

Pro tváření součásti lisováním je potřeba tyč ϕ 20 mm x 48,7 mm, objem se vypočítá ze vzorce:

$$V = \pi \cdot r^2 \cdot l = \pi \cdot 10^2 \cdot 48,7 = 15299,56 \text{ mm}^3 \quad (3)$$

| | |
|-------------------------------------|--------------|
| Třískové obrábění | |
| Objem polotovaru [mm ³] | 23644,88 |
| Objem obrobku [mm ³] | 14840,00 |
| Objem třísky [mm ³] | 8804,88 |
| Šířka upichování [mm] | 3 |
| Odpad [%] | 37,23 |
| Využitý materiál [%] | 62,77 |
| Objemové tváření | |
| Objem polotovaru [mm ³] | 15299,56 |
| Objem obrobku [mm ³] | 14800,50 |
| Objem třísky [mm ³] | 499,06 |
| Šířka upichování [mm] | 1 |
| Odpad [%] | 3,26 |
| Využitý materiál [%] | 96,74 |

Tab. 5 Srovnání využití materiálu

7.2 Finanční srovnání nákladů na potřebný materiál

V současné době je cena materiálu 11 109 18,90 Kč/kg. Tyč ϕ 32 mm x 3000 mm váží 18,93 kg. To znamená, že cena jedné tyče ϕ 32 x 3000 je 357,78 Kč.

Cena materiálu 12 020 je v současné době 15,68 Kč/kg. Tyč ϕ 20 mm x 3000 mm váží 9,41 kg. To znamená, že cena jedné tyče ϕ 20 x 3000 je 147,55 Kč. Za rok se vyrábí 1000000 kusů pákových kuželů. Výsledky jsou uvedeny ve srovnávací tabulce (tab. 6).

Počet kusů z jedné tyče:

Soustružení:
$$j = \frac{L - p}{l + x} = \frac{3000 - 3}{26,4 + 3} = 101 \text{ kusů} \quad (4)$$

Lisování:

$$j = \frac{L-p}{l+y} = \frac{3000-3}{48,7+1} = 60 \text{ kusů} \quad (5)$$

| | Třískové obrábění | Objemové tváření |
|--------------------------------|-------------------|-------------------|
| Počet kusů z jedné tyče [ks] | 101 | 60 |
| Počet tyčí pro 1000000 ks [ks] | 9900,99 | 16666,67 |
| Cena jedné tyče [Kč] | 357,78 | 147,55 |
| Celková cena [Kč] | 3542376,20 | 2459167,10 |

Tab. 6 Srovnání finančních nákladů na pořízení materiálu

Ve srovnání v tabulkách 5 a 6 je zřejmé, že výroba objemovým tvářením za studena je z ekonomického hlediska výhodnější co se týče finančních nákladů na materiál a i jeho celkového využití. Objemovým tvářením dochází ke zpevnění materiálu a v jeho důsledku i ke zlepšení jeho vlastností. Úspora finančních nákladů na pořízení materiálu je 30,6% oproti současné technologii výroby třískovým obráběním.

Na druhou stranu se musí počítat s vyššími náklady na pořízení tvářecích nástrojů a režijních nákladů operací tváření.

8. Závěr

Cílem diplomové práce bylo navržení nového konstrukčního a technologického systému záběrového ústrojí jízdního kola a to technologií objemového tváření za studena.

V úvodní části je provedeno zhodnocení stávající technologie a to třískového obrábění. Jsou zde rovněž uvedeny důvody, pro které je tato technologie v současné době nevyhovující.

Navržený konstrukční a technologický postup nahrazuje třískové obrábění objemovým tvářením za studena. Po vyhotovení výlisku následuje třískové obrábění, kdy se dokončí pákový kužel volnoběžky. Následné operace se dále shodují s původní technologií výroby. Výroba pákového kužele volnoběžky je zakončena tepelným zpracováním, které je nutné dodržet, aby bylo dosaženo předepsaných vlastností finálního výrobku.

V další části proběhla analýza základních parametrů tvářecích operací pomocí simulačního programu QForm a návrh koncepce tvářecích nástrojů, včetně opatření na snížení špiček napětí v tvářecích nástrojích.

V technicko ekonomickém zhodnocení jsou shrnuty a výpočtem podloženy výhody navrhovaného řešení. Jednoznačnou a základní výhodou je úspora materiálu a jeho zpevnění. Nové řešení je z tohoto hlediska progresivní a velmi perspektivní.

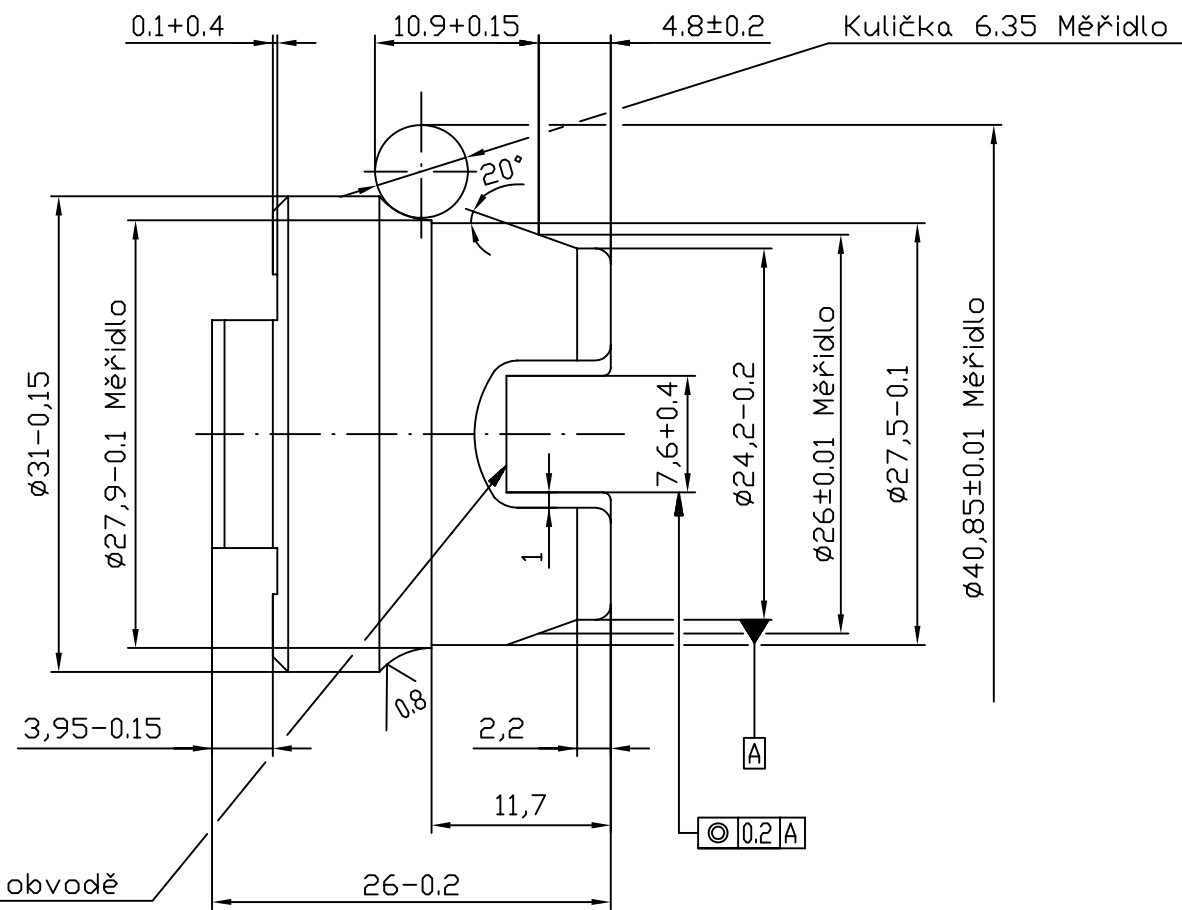
Zadání diplomové práce bylo splněno v plném rozsahu.

9. Seznam použité literatury

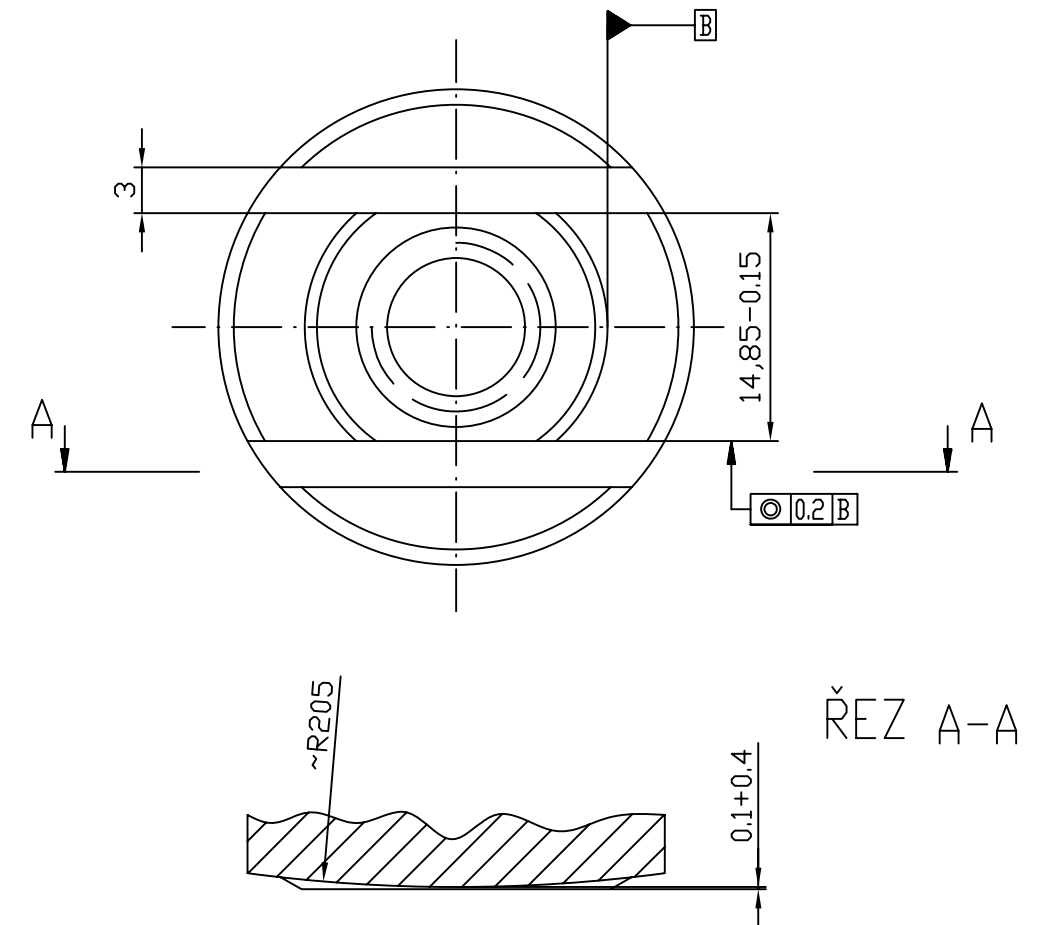
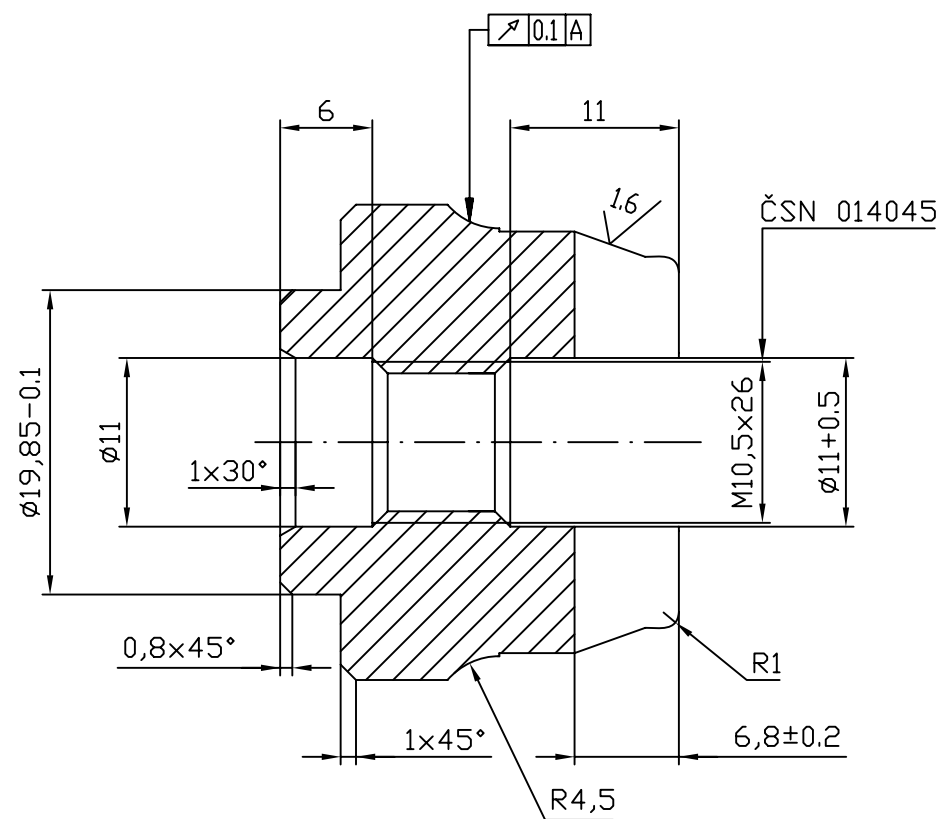
- [1] DRASTÍK, F., ELFMARK, J. Plastometry a tváritelnost kovů. Praha: SNTL, 1977
- [2] MIELNIK, E.M. Metalworking Science and Engineering. New York: McGraw-Hill, 1991
- [3] BABOK, K. aj. Objemové tváření ocelí. Praha: SNTL 1967
- [4] KOTOUČ, J. Nástroje pro tváření za studena. Praha : ČVUT, 1978, 158 s.
- [5] QForm. Uživatelská příručka. Moskva: Quantor Ltd., 2000

10. Přílohy

1. Výkres pákového kužele Lub-0001
2. Výkres nového pákového kužele Lub-0002
3. Graf přetvárné síly

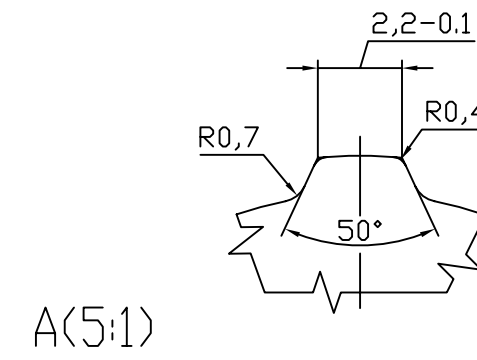
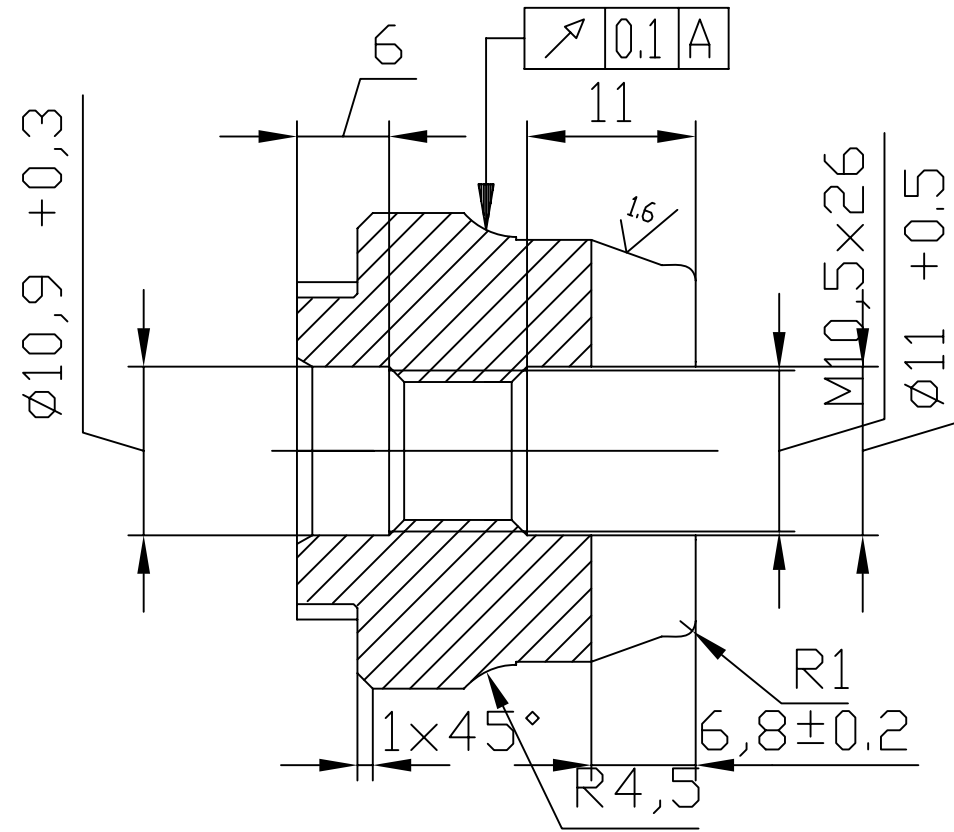
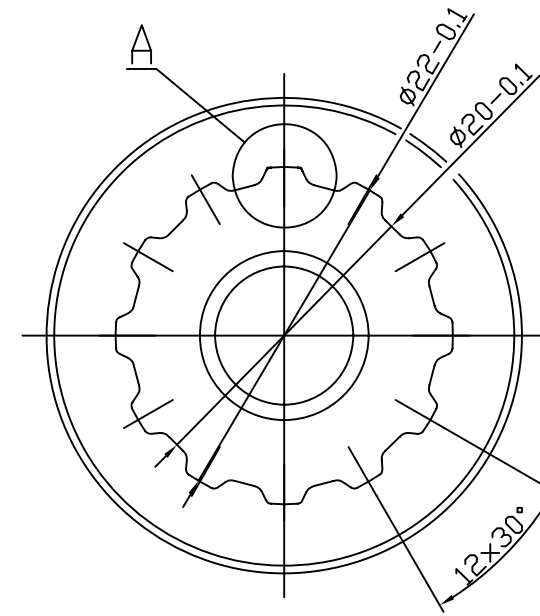
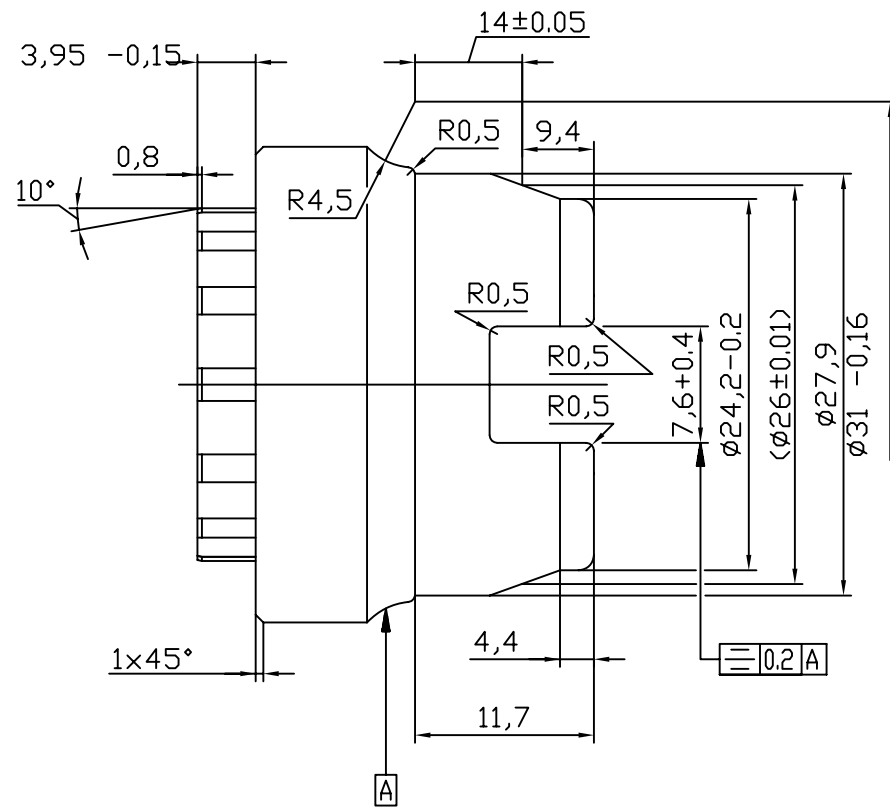


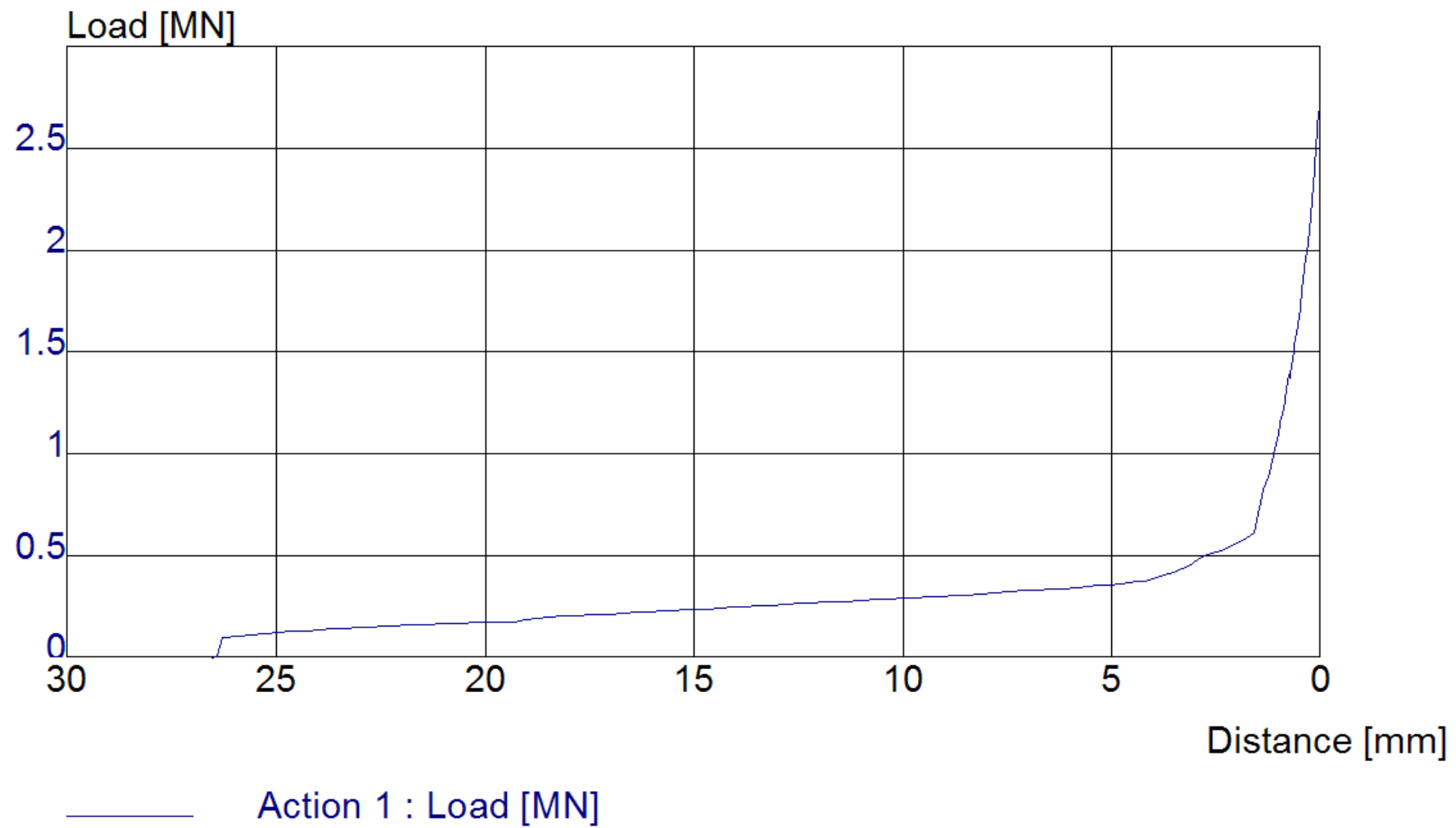
Odjehlít dr. po obvodě
proniku s kuželem-PL 1mm



Cementovat 0.5,0.7mm,kalit
Povrchová tvrdost min. HRA80=HV680
Zinkovat Fe/Zn3cB ČSN ISO 2081
Tolerované rozměry před tepelným zpracováním

Lub-0001





Graf přetvárné síly